

TOLERANCIA RESPIRATORIA DE *PROCHILODUS LINEATUS* (PISCES, CURIMATIDAE) A CONDICIONES CRÍTICAS DE OXÍGENO¹

María Julieta Parma-de-Croux²

ABSTRACT

RESPIRATORY TOLERANCE OF *PROCHILODUS LINEATUS* (PISCES, CURIMATIDAE) TO CRITICAL OXYGEN CONDITIONS. The objective was to estimate the lethal oxygen level under controlled conditions for juveniles of *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1847) to evaluate the tolerance and resistance to low oxygen concentrations. The oxygen levels tested ranged between 3.0 - 0.3 ppm at 25-27°C. The critical concentration was found to be 1.0 ppm, and the lethal oxygen level ranged between 0.3 to 0.5 ppm. The fish remained quiescent at the bottom of the respirometer while its activity was restricted to laboured respiratory movements. The loss of equilibrium was followed by a cessation of respiratory movements. The decrease in metabolic rate was important below 2.0 ppm. The species showed low oxygen demand and high tolerance to minimum concentrations.

KEYWORDS. *Prochilodus lineatus*, Curimatidae, lethal oxygen level, tolerance.

INTRODUCCIÓN

En muchas oportunidades se han dado a conocer mortandades de peces, en ambientes naturales o en condiciones de laboratorio, atribuibles a déficits en las concentraciones de oxígeno disuelto. Los trabajos realizados sobre alteraciones de comportamiento de los peces a bajas concentraciones, son muchas veces, contradictorios por las variaciones en las condiciones experimentales y en los métodos aplicados en su estudio (DAVIS, 1975).

Los problemas de la hipoxia son más frecuentes a altas temperaturas pues prevalece allí el reducido contenido de oxígeno y el elevado metabolismo de los peces, de tal modo que existiría una variabilidad estacional a las concentraciones de oxígeno (DAVIS, 1975). Ciertas actividades humanas, como el dragado y resuspensión de sedimentos, y otros grados de polución orgánica por el vertido de desechos industriales o domésticos, pueden ser causa de bajas concentraciones de oxígeno. Las reducidas concentraciones de oxígeno limitan la respiración, el crecimiento y otras actividades de los peces.

Las respuestas fisiológicas a la hipoxia son rápidas y consisten en cambios en la respiración y circulación (incremento en el índice respiratorio; aumento del número de eritrocitos y de hemoglobina de la sangre) (RANDALL, 1970; DAVIS; 1975), pero el uso de estos mecanismos de regulación y compensación, requieren un gasto de energía y,

1. Trabajo financiado por subsidio PID N° 3-0093800/88. CONICET.

2. Instituto Nacional de Limnología (INALI), José Maciá 1933, 3016 Santo Tomé, Santa Fe, Argentina (Investigador del CONICET).

en consecuencia, una reducción en las reservas para natación, alimentación, crecimiento y otras actividades.

El sábalo, *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1847), tiene importancia ecológica, económica y deportiva en el valle aluvial del río Paraná y cauces secundarios, siendo muy abundante, y en algunos casos dominante, en una gran variedad de ambientes lénticos que quedan expuestos durante el período estival a altas temperaturas y en muchos casos a bajas concentraciones de oxígeno. PARMA-DE-CROUX (1983) estimó el metabolismo de rutina de *Prochilodus platensis* (Holmberg, 1889) = *P. lineatus* a tres temperaturas experimentales (15, 20 y 30° C) y en condiciones de buen suministro de oxígeno, comprobando una relación directa con el peso de los ejemplares y la temperatura.

El objetivo es evaluar los niveles letales de oxígeno en juveniles de *P. lineatus*, y la tolerancia a bajas concentraciones en condiciones experimentales controladas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los ejemplares fueron capturados en la laguna de la isla El Espinillar (Río Colastiné, Santa Fe, Argentina), mediante una red de arrastre a la costa. Transportados a los laboratorios, fueron mantenidos en acuarios de 50 l de capacidad, con una temperatura entre 25 y 27°C y oxígeno entre 4,0 y 5,0 ppm y alimentados diariamente hasta 24h antes de iniciar las experiencias.

Se realizaron 32 ensayos para evaluar niveles de letalidad con ejemplares entre 70 y 193mm de longitud estándar y 8,5-190,0g de peso. Los peces fueron sometidos a un período de aclimatación a las condiciones experimentales dentro de un respirómetro durante aproximadamente 24h. El equipo de respirometría utilizado fue descrito por PARMA-DE-CROUX & LORENZATTI (1981) modificado por PARMA-DE-CROUX (1987) consistente en un recipiente de acrílico, de 7,22 l de capacidad. Al sistema se le incorporó un recipiente de reserva, conectado al respirómetro por una llave de paso. A medida que los ejemplares en experimentación consumían oxígeno, se permitía la entrada de agua oxigenada, eliminando el sobrante por un tubo de salida, manteniendo así constante el nivel de oxígeno deseado y el volumen de agua, sin mediar contacto con la atmósfera. El respirómetro fue cubierto para evitar los excesos de luz y las excitaciones durante el procedimiento experimental, dejando una pequeña ventana para observar el comportamiento y movimiento de los peces.

Las mediciones de oxígeno se efectuaron con un oxímetro Yellow Springs Instrument (YSI) modelo 57 con sensor de temperatura, el que fue calibrado antes de efectuar cada uno de los ensayos. Se trabajó con un tenor constante de oxígeno para cada ensayo, y los mismos se efectuaron dentro de un rango entre 0,3 y 3,0 ppm, realizando los registros y observando la conducta de los ejemplares en forma permanente. En algunos casos, la concentración deseada se logró por efecto de la respiración de los peces.

El tiempo de resistencia se midió de acuerdo al método utilizado por GOODING et al. (1981) tomando el período desde la introducción del pez en el respirómetro con bajo tenor de oxígeno, hasta alcanzar el punto de volteo, es decir la pérdida de equilibrio, recostándose el ejemplar sobre uno de los flancos o bien volteándose sobre el dorso hasta que se produce la muerte. Se considera que sobreviven si permanecen nadando luego de 4h, momento en que se dá por finalizado el experimento. Se trasladan, luego, los ejemplares a acuarios con la misma temperatura y con condiciones de oxígeno similares a las del período de aclimatación, donde se efectúan observaciones sobre capacidad de recuperación o en su defecto posibles mortandades. El índice de ventilación fue determinado registrando la frecuencia y amplitud de los movimientos operculares por minuto, en condiciones normales y de anoxia.

Se aplicó la ecuación de regresión para relacionar los pesos de los ejemplares con los niveles letales encontrados.

Experiencias fueron realizadas para estimar la influencia de la reducción de oxígeno disuelto sobre la tasa metabólica (metabolismo de rutina) en ejemplares juveniles. Se utilizaron individuos 3,8 y 52,0g de peso procedentes de la misma captura y sometidos a igual período de aclimatación y condiciones experimentales. Los ensayos se efectuaron estimando la tasa de consumo de oxígeno a 3,5; 3,0; 2,0 y 1,0 ppm de oxígeno disuelto, a una temperatura de 25-27°C y expresando los resultados en mg/O₂/h.

RESULTADOS

Los peces registraron un comportamiento normal en 3,0 ppm de oxígeno disuelto. Los primeros trastornos comenzaron a manifestarse a partir de 2,0 ppm con un aumento progresivo en la frecuencia e intensidad respiratoria, estimados por la cantidad y amplitud de los movimientos operculares por minuto. A medida que la falta de oxígeno se hizo más pronunciada, se observó una mayor alteración en los peces, con tendencia a nadar agitadamente. A partir de 1,0 ppm se produjeron desplazamientos violentos, incoordinados, con una mayor actividad e intentos por acceder a la superficie. Este nivel crítico se consideró como el nivel letal incipiente, en donde el máximo consumo realizado por el pez no alcanza a satisfacer sus requerimientos mínimos. Por debajo de esta concentración, los peces permanecieron en el fondo del recipiente, observándose una marcada disminución en la frecuencia de los movimientos operculares y un notorio incremento en la amplitud de los mismos. Finalmente se produjo el colapso respiratorio y la muerte. Inmediatamente que hubieron cesado los movimientos respiratorios, fue característico observar los opérculos y la boca abiertos en toda su magnitud.

El nivel de oxígeno letal se halló entre 0,3 y 0,5 ppm, habiéndose comprobado que los peces de mayor tamaño evidenciaron un nivel letal a mayor concentración. Se halló una relación positiva entre el peso de los ejemplares y los niveles letales ($r=0,74$, $p<0,05$). Por encima del rango mencionado, los peces sobrevivieron (tab. I) a las concentraciones ensayadas, aún cuando algunos manifestaron síntomas de disnea pronunciada. Una vez colocados en acuarios con tenores de oxígeno altos, disminuyeron los desplazamientos agitados y los respiratorios se hicieron más lentos. En el transcurso de las 48 hs de observación retomaron su actividad y alimentación normal.

Los movimientos operculares normales para esta especie, en condiciones de buen suministro de oxígeno y en estado de reposo, oscilaron entre 90 y 100 mov./min. En 2,0 ppm se incrementaron a valores entre 120-138 mov./min., para alcanzar picos máximos de 212-184 mov./min. en 1,0 ppm. A partir de allí comienza nuevamente la disminución en la frecuencia (150-165 mov./min. en 0,5 ppm) y un importante incremento en la amplitud de los movimientos respiratorios, indicando la proximidad del punto de volteo.

En las experiencias realizadas para evaluar la influencia del oxígeno del medio sobre la tasa metabólica, se pudo comprobar que por encima de 2,0 ppm, el consumo de oxígeno se mantuvo constante, siendo muy similares los valores registrados a 3,5 y 3,0 ppm (fig. 1). En 2,0 ppm la disminución en la tasa metabólica fue de alrededor de 6 a 17%, siendo muy importantes las reducciones a 1,0 ppm, con porcentajes entre 52 y 64%, aproximadamente para el rango de pesos considerados.

DISCUSIÓN

De los ensayos efectuados, se comprobó que el nivel mínimo de oxígeno en el cual comienzan a manifestarse evidentes síntomas de trastornos en las frecuencias y amplitudes respiratorias, fue de 2,0 ppm. Por debajo de este valor, la respiración se hizo más rápida, forzada y acompañada de una disminución en la utilización del oxígeno. Por encima de 2,0 ppm, el consumo de oxígeno permaneció constante. Las disminuciones registradas a partir de allí estarían indicando la transición de la independencia a la dependencia respiratoria, evidenciada por las importantes reducciones que oscilaron entre

Tabla I. Ensayos efectuados para estimar el nivel de oxígeno letal en *Prochilodus lineatus*.

ENSAYO	PESO g	TEMP. °C	Nivel O ₂		SUPERVIVENCIA	MORTALIDAD
			ppm	% Saturación		
1	19,0	26	1,0	12,2	X	
2	30,5	25	0,5	6,0	X	
3	10,0	26	1,0	12,2	X	
4	16,3	27	0,3	3,7		X
5	15,8	25	0,5	6,0	X	
6	30,8	27	1,0	12,3	X	
7	17,3	25	0,4	5,0		X
8	70,4	26	3,0	36,6	X	
9	9,0	26	0,4	3,7		X
10	38,0	26	3,0	36,6	X	
11	64,6	25	3,0	35,7	X	
12	14,8	27	0,3	3,7		X
13	25,7	27	3,0	37,0	X	
14	55,5	27	2,0	24,7	X	
15	11,5	27	0,4	4,9		X
16	34,5	27	3,0	37,0	X	
17	45,9	25	2,0	23,8	X	
18	43,0	27	0,5	6,1	X	
19	37,0	27	0,3	4,9		X
20	64,0	27	0,4	4,9		X
21	159,5	25	1,0	11,9	X	
22	11,5	27	0,4	4,9		X
23	138,2	26	1,0	12,2	X	
24	105,0	25	2,0	23,8	X	
25	190,0	27	0,5	6,1		X
26	146,0	26	0,5	6,1		X
27	184,0	26	2,0	24,0	X	
28	11,2	27	0,4	4,9		X
29	8,5	25	0,4	4,7		X
30	129,3	26	2,0	24,0	X	
31	129,3	26	0,5	6,1		X
32	85,4	26	0,5	6,1		X

el 52 y 64%. En tal sentido, en muchas oportunidades se han dado a conocer disminuciones en el metabolismo o consumo de oxígeno por efecto de la hipoxia (LOMHOLT & JOHANSEN, 1979; JENSEN & WEBER, 1985; PETERSON & GILMORE, 1991), coincidiendo los estudios en que las bajas concentraciones resultan en una marcada disminución en la toma de oxígeno. Esta reducción en el consumo en condiciones de hipoxia podría ser considerada como una estrategia adaptativa para conservar el oxígeno durante los períodos críticos.

El nivel letal incipiente se halló en 1,0 ppm de oxígeno no disuelto. Desde el punto de vista ecológico, este nivel puede ser tomado como el momento en que el contenido de oxígeno del medio se vuelve inapropiado para los peces (FRY, 1957). En este punto, los peces se mostraron extremadamente estresados, con un incremento en la actividad e intentos para escapar de las condiciones extremas y de acceder a la superficie, comportamiento que es similar al observado por otros autores para períodos de hipoxia

(JONES, 1952; WEBER & KRAMER, 1983) y considerado característico de los teleosteos (RANDALL, 1970).

El registro de la frecuencia y amplitud de los movimientos ventilatorios es una manera de destacar los cambios de actividad en respuesta a la reducción en los niveles de oxígeno disuelto (GEE et al., 1978; SAINT-PAUL, 1984). En general, se mencionan picos máximos a niveles intermedios de oxígeno para luego decaer bruscamente cuando los niveles son muy bajos (GRAHAM et al., 1978). Estos incrementos en los movimientos operculares durante la hipoxia representan un intento para mantener relativamente constante el ingreso de oxígeno en condiciones de bajos tenores del medio líquido. Es común encontrar en la bibliografía grandes diferencias entre especies, relacionadas fundamentalmente a la ecología de las mismas (RANDALL, 1970; SHELTON, 1970). En nuestro caso se dió un esquema similar al citado anteriormente: aumento en la frecuencia y amplitud de los movimientos respiratorios a partir de un punto crítico, para alcanzar un pico máximo (1,0 ppm) y luego una marcada disminución de la frecuencia, señalando la proximidad del nivel letal. El nivel de oxígeno letal se halló entre 0,3 y 0,5 ppm, siendo los ejemplares mayores más sensibles a las bajas concentraciones. En comparación con otras especies de agua dulce (DOUDOROFF & SHUMWAY, 1970; DAVIS, 1975), *P. lineatus* demostró tener bajos requerimientos de oxígeno, gran tolerancia a concentraciones mínimas y óptima capacidad de recuperación.

Los peces son capaces de evitar las condiciones extremas de hipoxia, si bien existen discusiones y muchas incógnitas con respecto al modo como lo hacen. KRAMER (1987) describe cuatro categorías de respuestas a una baja disponibilidad de oxígeno en el medio: 1) cambios en la actividad; 2) aumento en el uso de la respiración aérea, sólo posible para algunos peces; 3) aprovechamiento del oxígeno del agua de la interface agua-aire para la respiración acuática, conocida como respiración acuática de superficie y 4) cambios horizontales y verticales del hábitat.

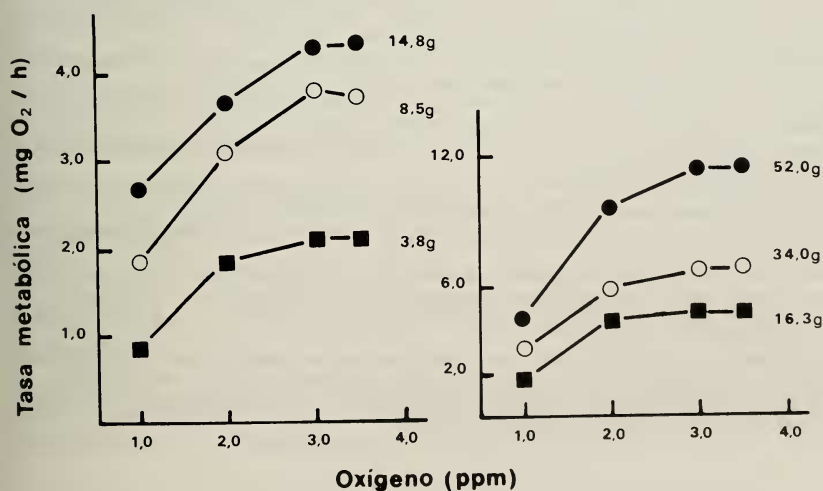


Fig. 1. Consumo de oxígeno (mg O₂/h) de juveniles de *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1847) en relación al oxígeno disponible (ppm) en condiciones experimentales. Los números reflejan el peso en gramos de los ejemplares.

WINEMILLER (1989) realiza una evaluación de adaptaciones morfológicas y fisiológicas a la hipoxia en diferentes especies de peces y sostiene que otra especie del mismo género, *Prochilodus mariae* (Eigenmann, 1922) presumiblemente debe poseer adaptaciones fisiológicas para vivir en ambientes faltos de oxígeno y que realizaría una importante reducción en sus niveles de alimentación para sobrevivir en estos períodos.

El sábalo (*P. lineatus*) no posee órganos adaptados para la respiración aérea y tampoco se ha comprobado que utilice la respiración acuática de superficie, por lo tanto, los mecanismos que desarrolla estarían relacionados con su alta capacidad para tolerar bajas concentraciones y reducir notablemente su tasa metabólica. Es probable que realice desplazamientos para evitar este tipo de ambientes, aunque es muy común encontrar los juveniles en lagunas desconectadas de los cauces principales y cubiertas de vegetación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAVIS, J. C. 1975. Minimal dissolved oxygen requirements in aquatic life with emphasis on Canadian Species: a review. **J. Fish. Res. Bd. Can.**, Ottawa, **32** (12): 2295-2332.
- DOUDOROFF, P. & SHUMWAY, D. L. 1970. Dissolved oxygen requirements of freshwater fishes. **F.A.O. Fish. Tech. Pap.**, Roma, **86**: 291.
- FRY, F. E. 1957. The aquatic respiration of fish. In: BROWN, M.E. **The Physiology of Fishes. Metabolism**. New York, Academic, v. 1, p. 1-63.
- GEE, J. H.; TALLMAN, R. F. & SMART, H. J. 1978. Reactions of some great plains fishes to progressive hypoxia. **Can. J. Zool.** Ottawa, **56**: 1962-1966.
- GOODING, R. M.; NEILL, W.H. & DIZON, A. E. 1981. Respiration rates and low oxygen tolerance limits in skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*. **Fish. Bull.**, Dublin, **79** (1): 31-48.
- GRAHAM, J. B.; KRAMER, D. L. & PINEDA, E. 1978. Comparative respiration on air-breathing and non air-breathing characoid fish and the evolution of aerial respiration in characins. **Physiol. Zool.**, Chicago, **51** (3): 279-288.
- JENSEN, F. B. & WEBER, R.E. 1985. Kinetics of the acclimational responses of tench to combined hypoxia and hyper capnia. **J. Comp. Physiol.**, Berlin, **B156**: 197-203.
- JONES, J.R.E. 1952. The reactions of fish to water of low oxygen concentration. **J. Exp. Biol.**, Cambridge, **29**: 403-415.
- KRAMER, D. L. 1987. Dissolved oxygen and fish behaviour. **Env. Biol. Fish.**, Dordrecht, **18**: 81-92.
- LOMHOLT, J. P. & JOHANSEN, K. 1979. Hypoxic acclimation in carp-how it affects O₂ uptake, ventilation and O₂ extraction from water. **Physiol. Zool.**, Chicago, **52**: 38-49.
- PARMA-DE-CROUX, M. J. & LORENZATTI, E. 1981. Metabolismo de rutina de *Apareiodon affinis* (Steindachner) (Pisces, Parodontidae). **Neotrópica**, Buenos Aires, **27** (78): 191-197.
- PARMA-DE-CROUX, M. J. 1983. Metabolismo de rutina de *Prochilodus platensis* (Holmberg, 1889) (Pisces, Prochilodontidae). **Revta. Asoc. Cienc. Nat. Litoral**, Santa Fe, **14**: 1-6.
- . 1987. Nivel de oxígeno letal y mínimo de tolerancia en *Pimelodus albicans* (Pisces, Pimelodidae). **Revta Asoc. Cienc. Nat. Litoral.**, Santa Fe, **18**: 85-91.
- PETERSON, M. S. & GILMORE, R.G., Jr. 1991. Eco-physiology of juvenile snook, *Centropomus undecimalis* (Bloch): life history implications. **Bull. Mar. Science**, St. Lawrence, **48** (1): 46-57.
- RANDALL, D. J. 1970. Gas exchange in fish. In: HOAR, W.S. & RANDALL, D. J. **Fish Physiology**, New York, Academic, v. 4, p. 253-292.
- SAINT-PAUL, U. 1984. Physiological adaptation to hypoxia of a Neotropical characoid fish *Colossoma macropomum* Serrasalmidae. **Env. Biol. Fishes.**, Dordrecht, **11** (1): 53-62.
- SHELTON, G. 1970. The regulation of breathing. In: HOAR, W. S. & RANDALL, D. J. **Fish Physiology**, New York, Academic v. 4, p. 293-359.
- WEBER, J. M. & KRAMER, D. L. 1983. Effects of hypoxia and surface access on growth, mortality and behaviour of juvenile guppies, *Poecilia reticulata*. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.**, Ottawa, **40**: 1583-1588.
- WINEMILLER, K. O. 1989. Development of dermal lip protuberances for aquatic surface respiration in South American Characid fishes. **Copeia**, Carbondale, **2**: 382-390.